

GEMPA BUMI, PENGARUHNYA TERHADAP TAMPILAN BANGUNAN

Bisatya W. Maer

Jurusan Arsitektur
Universitas Kristen Petra Surabaya
e-mail: bima@mitra.net.id

ABSTRAK

Gempa bumi tektonik merupakan gejala alam yang perlu mendapat perhatian serius dari perancang struktur maupun arsitek. Teknologi gempa dan *seismic design* saat ini telah sangat maju. Makalah ini mengamati dari sudut pandang arsitektur, apakah *seismic design* bisa mempengaruhi tampilan bangunan, seberapa jauh arsitek dapat memanfaatkannya sebagai penentu bentuk. Tulisan tulisan yang membahas pengaruh struktur bangunan terhadap arsitektur mengkaitkan struktur sebagai bagian integral dalam perancangan arsitektur, sehingga saling terkait dengan ruang, susunan ruang ruang dan bentuk.

Keterkaitan struktur dengan bentuk lebih banyak membahas pengaruh dari beban statis. Gempa yang merupakan beban dinamis membawa dampak yang tidak sama dengan beban statis. "Konfigurasi" bangunan¹, yaitu: bentuk, ukuran massa bangunan; sifat, ukuran dan tata letak elemen elemen struktural; serta sifat, ukuran dan tata letak elemen elemen non struktural, ternyata sangat berpengaruh terhadap respon ("perilaku") bangunan, yang pada akhirnya akan sangat menentukan besarnya gaya gaya pada tiap komponen struktural. "Konfigurasi" bangunan dihasilkan dari ide Arsitek, oleh karena itu arsitek punya peran yang besar dalam menentukan "perilaku" struktur, lebih dari itu punya kesempatan yang besar untuk menggali "potensi estetis" yang mungkin ada dalam *seismic design*.

Kajian ini mengacu pada pandangan Glasser⁶ dan Howard⁷, dengan mengadakan sedikit penyesuaian sehingga bisa dipakai untuk menilai tingkat pengaruh gempa terhadap tampilan bangunan. Howard mene-kankan bahwa estetika melalui tampilan struktur dapat digali melalui mekanika gaya (akibat beban statis). Dalam *seismic design*, "konfigurasi" berperan sangat penting, dan "konfigurasi" sangat dipengaruhi oleh ide arsitek. Oleh karena itu setelah melalui pengkajian lebih lanjut, diputuskan menggunakan "konfigurasi" bangunan sebagai interpretasi baru dari mekanika gaya nya Howard, dalam menentukan "faktor penentu bentuk".

Kesimpulan dari pengamatan ini adalah:

1. Menempatkan gempa bumi sebagai faktor penentu tampilan bangunan bisa digali melalui "konfigurasi" dan mengekspos metode konstruksi yang khusus.
2. Struktur sebagai prinsip organisasi, dapat digali dengan mengintegrasikan organisasi ruang dengan tata letak elemen elemen struktural pendukung gempa dan tata letak elemen elemen non struktural.



3. Tingkatan pengaruh "konfigurasi" terhadap tampilan bangunan

- Struktur sebagai penentu bentuk
 - *Minimal Structure (M-S)*
 - *Optimal Structure (O-S)*
 - *Sculpture Structure (S-S)*
 - *Pretentious Structure (P-S)*

Dalam pendekatan *minimal structure*, "konfigurasi" bangunan dan/ atau metode konstruksi khusus paling menentukan tampilan bangunan, sedangkan pada pendekatan *pretentious Structure* struktur tidak dipikirkan secara integral dalam perancangan.

4. Beberapa kasus dibahas ternyata memperkuat kesimpulan diatas, dan memberi pelajaran bahwa kerja sama antara arsitek dan perancang struktur dibutuhkan dalam proses perancangan arsitektur sejak awal proses transformasi dari konsep abstrak ke bentuk.

Kata kunci:

"Perilaku" bangunan, "konfigurasi" bangunan, prinsip rancangan organisasi, metode konstruksi khusus, penentu bentuk, tampilan bangunan, kerja sama.

PENDAHULUAN

Gempa bumi tektonik merupakan gejala alam yang telah terbukti mempunyai daya merusak yang hebat. Terjadinya gempa bumi disebabkan hancurnya material kulit bumi didaerah patahan akibat terjadinya pergeseran dua lempeng tektonik yang saling berbeda arah. Hancurnya material kulit bumi tersebut mengakibatkan terpancarnya energi gempa yang menjalar dari pusat gempa (hipocentre) ke permukaan dan di permukaan bumi. Besarnya gempa tergantung dari waktu ulang (*return period*) kejadian, semakin panjang waktu getarnya (energi potensial besar) maka gempa semakin besar.

Bekerjanya gempa pada bangunan dapat diilustrasikan sebagai berikut:
Bayangkan kita sedang berdiri diatas bak sebuah truk menghadap kesamping dengan kaki terbuka sehingga kaki kanan dibelakang dan kaki kiri didepan, tiba tiba truk dijalankan kemudian di rem dan dijalankan lagi kebelakang. Apa bila kecepatan awal sangat tinggi (percepatan besar) maka kemungkinan besar kita langsung terjatuh kearah belakang sebelum truk direm. Tapi apa bila truk bergerak dengan pelan, maka pada awalnya akan terasa mau terjatuh kebelakang, kaki kanan kita akan merasa tertekan, sebaliknya kaki kiri akan terangkat. Mekanisme mau jatuh arah kebelakang terjadi karena berat tubuh kita berusaha melawan pergeseran tubuh kedepan. Gaya ini adalah gaya inerti (Newton: gaya inerti = percepatan X berat massa), menurut Newton makin besar percepatan maka makin besar gaya inerti, dan makin besar berat massa maka makin besar gaya inerti. Mekanisme berikutnya, setelah tubuh kita "tertinggal" oleh kaki yang sudah bergerak kedepan (karena gaya inerti) tubuh kita akan akan mengayun kedepan berusaha berada diatas kaki kembali, tapi pada saat yang hampir bersamaan gerakan truk sudah kebelakang lagi demikian seterusnya. Mekanisme ini akan berlanjut sampai truk berhenti atau setelah kita terjatuh. Dapat kita bayangkan lebih lanjut, kalau arah menghadap kita dirubah menjadi kedepan, maka "perilaku" tubuh kita akan berbeda, atau kalau salah satu tangan kita membawa ember berisi air, "perilaku" tubuh kita akan berbeda lagi. Ilustrasi ini walaupun tidak sempurna tapi dapat menggambarkan apa



yang dialami bangunan saat digetarkan/ digoncang oleh gempa. Gempa bumi mengetarkan pondasi bangunan melalui tanah, getaran tersebut tidak beraturan dan dirambatkan keatas melalui komponen komponen vertikal, disebarkan secara horizontal melalui diafragma (lantai / atap), dan seterusnya. Percepatan tanah dan berat massa menentukan besarnya gaya inerti (Newton), disamping itu menurut Arnold: a) bentuk & ukuran bangunan, b) sifat & penataan elemen elemen struktural, c) serta sifat & penataan elemen elemen non struktural yang didefinisikan sebagai "konfigurasi bangunan" (selanjutnya disebut "konfigurasi" saja) sangat berpengaruh terhadap perilaku bangunan bila digetarkan oleh gempa. Jadi besarnya gaya gaya yang bekerja pada komponen komponen struktur pendukung gempa tidak hanya karena gaya inerti menurut Newton, tapi juga dipengaruhi oleh "konfigurasi".

"Konfigurasi" pada prinsipnya dikelompokkan dalam dua kelompok, yaitu "konfigurasi" sederhana dan "konfigurasi" tidak sederhana. "Konfigurasi" tidak sederhana mengakibatkan perilaku bangunan tidak sederhana, dinamis dan ada resiko terjadinya perbedaan antara perilaku nyata dengan rancangan struktur, sehingga berpotensi terjadi mekanisme mekanisme kegagalan struktur yang berbahaya seperti: torsi pada massa bangunan, *soft storey*, *set back*, *short column*, *strong beam - weak column*. "Konfigurasi" tidak sederhana juga mengakibatkan struktur bangunan tidak efisien.

Keamanan dan efisiensi bangunan merupakan bagian yang mendapat perhatian penting dari perancang struktur. Rancangan struktur dilandasi falsafah: keamanan jiwa pengguna gedung, keamanan materi, dan keku-atan struktur. Dalam Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung Tahun 83 disebutkan: bangunan tidak roboh terhadap gempa skala besar; elemen struktural boleh rusak dalam batas batas tertentu, tapi elemen non struktural tidak rusak terhadap gempa skala menengah; dan bangunan tidak boleh rusak sama sekali terhadap gempa skala kecil. Dengan falsafah ini, kekuatan elastik struktur diperhitungkan terhadap gempa kecil, sedangkan untuk gempa besar beban lebih harus dapat diterima oleh daktilitas struktur. Kekakuan struktur sangat berperan dalam mengurangi kerusakan komponen komponen serta elemen elemen struktural maupun non structural. Kinerja struktur yang mampu berperilaku seperti ini, dirancang oleh perancang struktur, namun arsitek sebagai perancang sangat berperan dalam menghasilkan "konfigurasi" nya. Kerja sama antara arsitek dan perancang struktur menjadi kata kunci yang penting.

Pendekatan perancangan struktur dan pendekatan perancangan arsitektur di daerah gempa tidak harus saling berbenturan walaupun persyaratan struktur dalam *seismic design* sangat ketat. Dengan tidak meninggalkan prinsip perancangan arsitektur: kegunaan, kekuatan dan estetika (Vitruvius), bagi arsitek tidak jarang persyaratan persyaratan struktural tidak menjadi kendala, tapi bisa menjadi pemicu ide, sedangkan bagi perancang struktur "konfigurasi" (baca: ide arsitek) yang tidak sederhana bisa menjadi pemicu ide pemecahan struktur, untuk itu di-perlukan koordinasi yang baik sejak awal proses perancangan antara arsitek dan perancang struktur sangat diperlukan.

SISTEM PENDUKUNG BEBAN LATERAL

Elemen pendukung beban gempa pada dasarnya adalah elemen pendukung beban lateral, yang juga berfungsi mendukung beban lateral lain seperti angin. Bila dipakai sebagai pendukung gempa, kinerja elemen elemen tersebut dirancang berdasarkan *seismic design*, dengan falsafah seperti diuraikan sebelumnya.

Secara prinsip elemen vertikal pendukung beban lateral (selanjutnya disebut "elemen struktur") ada 3 jenis:

- Rangka kaku, atau portal kaku (*moment resistant frame*)
- Rangka diperkaku dengan batang diagonal (*braced frame*)
- Dinding geser (*shear wall*)

Gaya gaya lateral yang bekerja didistribusikan pada seluruh lebar/ panjang bangunan untuk mencapai elemen elemen vertikal melalui *diafragma*, biasanya lantai dan atap bangunannya. Seperti yang diungkapkan oleh Arnold¹ didepan, 3 unsur "konfigurasi" mempengaruhi respon ("perilaku") bangunan pada saat digetarkan oleh gempa bumi, berarti menempatkan "elemen elemen struktur" pada suatu bentuk massa tertentu dengan sen-dirinya mempengaruhi respon/ perilaku bangunan bila digetar oleh gempa. Misalnya penempatan "elemen struktur" secara tidak simetri pada denah bangunan yang bentuknya sederhana dan simetri, bisa mengakibatkan bangunan terpuntir pada bidang denahnya. Apabila bentuk massa bangunan juga tidak sederhana, maka perilaku bangunan semakin rumit.

Konfigurasi yang tidak sederhana bisa diakibatkan oleh:

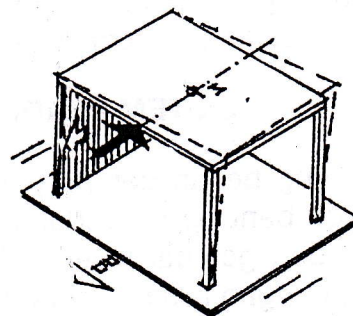
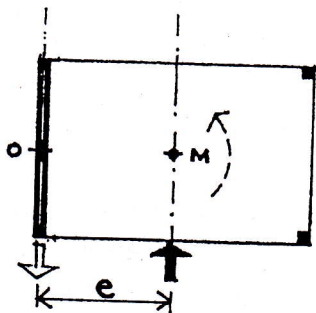
- Bentuk massa yang tidak sederhana, pada umumnya bentuk denah berlengan (+, L, T, H)
- Bentuk penampang yang tidak sederhana, ada tonjolan yang cukup besar seperti *set back* dan *invert set back*,
- Bentuk tidak simetri.
- Massa sangat besar (sangat tinggi dan sangat panjang)
- Tata letak "elemen struktur" tidak simetri.
- Kekakuan antar tingkat tidak kontinyu. Ada perbedaan yang signifikan antara kekakuan tingkat yang satu dengan yang lain.
- Pendistribusian massa (misalnya dinding) yang tidak simetri pada denah bangunan,.
- Massa lebih berat diatas bangunan.
- Penempatan elemen non struktural mengganggu deformasi portal, sehingga mengakibatkan gaya geser terpusat yang besar pada kolom.

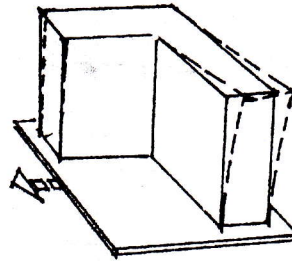
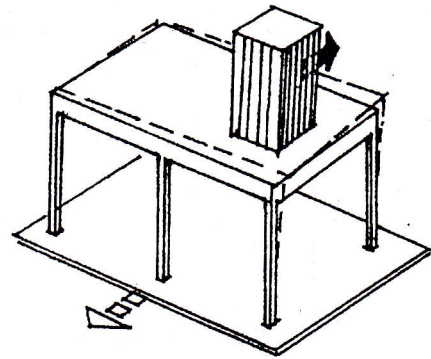
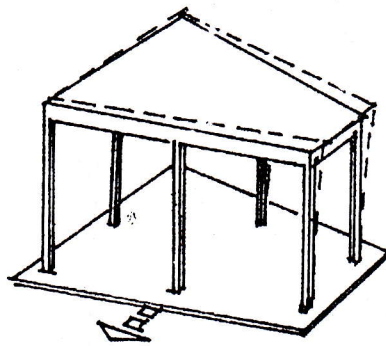
Semuanya ini dapat mengakibatkan mekanisme mekanisme kegagalan struktur berikut.

PERILAKU BANGUNAN DAN MEKANISME MEKANISME KEGAGALAN STRUKTUR.

Torsi:

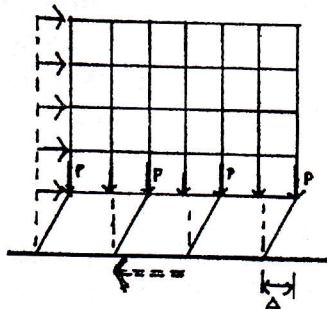
Mekanisme torsi bisa terjadi karena ada eksentrisitas pada denah bangunan, dimana titik pusat massa bangunan tidak berimpit dengan titik pusat kekakuan lateral. Semakin besar eksentrisitasnya, torsi semakin besar. Eksentrisitas ini bisa terjadi karena bentuk denah dan potongan yang tidak sederhana, kekakuan lateral pada denah asimetri, serta distribusi beban tidak merata





Soft storey (P - Δ effect)

Mekanisme *soft storey* bisa terjadi apabila kekakuan tingkat dibagian atas jauh lebih besar dari kekakuan tingkat bawahnya. Akibatnya akan terjadi simpangan lateral (Δ) yang sangat besar pada kolom tingkat dibawah, akibatnya gaya normal (P) dari kolom atas menjadi eksentris terhadap sumbu kolom dan mengakibatkan momen eksentris yang besar ($P \times \Delta$).



Lantai tipikal jauh lebih kaku dari lantai dasar.

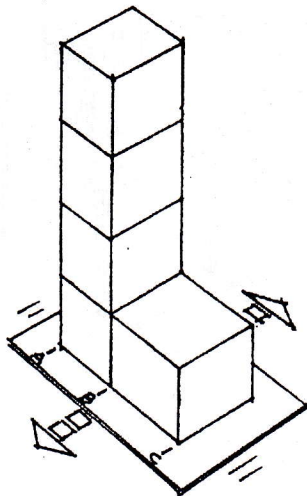
Simpangan Δ besar.

Gaya tekan pada kolom eksentris terhadap tumpuan. Terjadi momen eksentris $M_e = P \times \Delta$.

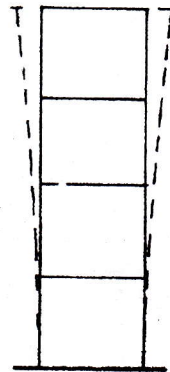
M_e ini merupakan momen tambahan, diluar gaya normal, gaya geser dan momen lentur

Set back

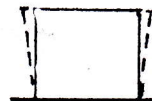
Bentuk massa ada penonjolan yang ekstrim dibagian bawah, sehingga terbentuk "*stage*" dan "*tower*". Akibat penonjolan "*stage*" yang besar bisa terjadi pemusatan gaya geser yang signifikan pada komponen struktur (misalnya pada kolom atau diafragma) ditempat pertemuan "*stage*" dan "*tower*" tersebut. Pemusatan gaya geser terjadi karena kekakuan struktur bagian "*stage*" jauh lebih besar dari bagian "*tower*", sehingga waktu getar kedua bagian tersebut berbeda. Komponen struktur (kolom dan diafragma) ditempat pertemuan dua waktu getar yang berbeda akan berusaha menyesuaikan getaran kolomnya dengan dengan kedua waktu getar tersebut, akibatnya terjadi gaya geser horisontal terpusat yang besar.



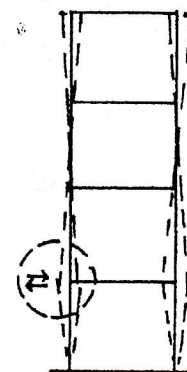
SET BACK
pd kolom portal b
terjadi gaya geser
terpusat



PORTAL - A
deformasi (a)
waktu getar (a)



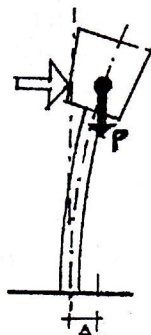
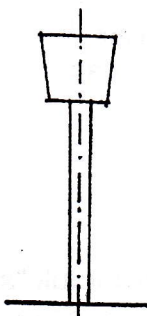
PORTAL - C
deformasi (c)
waktu getar (c)



PORTAL - B
Deformasi &
waktu getar) saling
menyesuaikan

Invert set back.

Bentuk massa kebalikan dari set back, yaitu penonjolan ada dibagian atas bangunan (misalnya *water tower*). Bagian atas sangat berat, titik berat massa jauh dari pondasi, gaya inerti akibat gempa akan menghasilkan momen lentur yang besar pada pendukung vertikal, oleh karena itu bisa terjadi simpangan lateral (Δ) yang besar sehingga massa (P) mengalami eksentrisitas sebesar Δ terhadap sumbu elemen pendukung vertikal, semua ini akan mengakibatkan terjadi momen eksentris yang besar ($P \times \Delta$). Kalau bangunannya *water tower*, maka guncangan air didalam tandonnya akan menambah perilaku dinamis struktur.



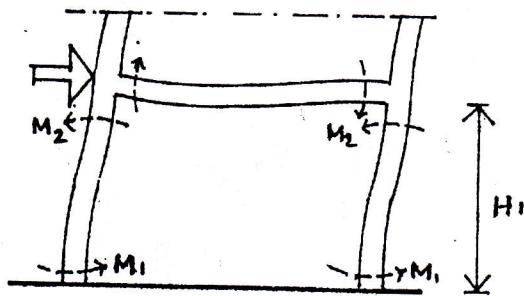
Titik pusat massa jauh dari pondasi,
mo-men aki-bat gaya iner-tia besar,
simpangan besar eksen-trisitas berat
G terhadap tumpuan menghasilkan :

$$M_e = P \times \Delta$$

M_e merupakan momen tambahan
diluar gaya normal, gaya geser dan
momen lentur

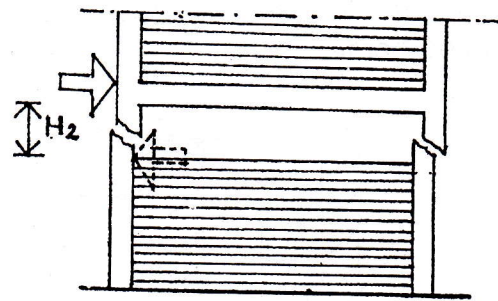
Short column.

Mekanisme *short column* adalah mekanisme keruntuhan kolom akibat pemusatan gaya geser pada kolom yang signifikan tanpa terencana sebe-lumnya. *Short column* bisa dikatakan sebagai "kolom yang diperpendek", artinya kolom yang awalnya dirancang dengan panjang tertentu, "menjadi pendek" karena pemasangan elemen non struktural yang punya kekakuan cukup signifikan seperti: dinding, tangga dll. yang menempel/ diikat pada kolom tersebut sehingga sisa kolom yang "bebas" menjadi pendek. Korelasi antara gaya geser dan momen kolom akibat gaya lateral menjadi berubah dengan adanya perubahan panjang kolom. Dengan momen yang sama, gaya geser pada kolom yang dipendekkan menjadi lebih besar dibanding gaya geser pada panjang kolom yang asli.

**PORTAL BEBAS**

deformasi tidak terhambat.

$$V_1 = M_1 + M_2 / H_1$$

**PORTAL TERISI****DINDING PENGISI**

deformasi terhambat

$$V_2 = M_1 + M_2 / H_2$$

$$H_2 < H_1 \text{ maka } V_2 > V_1$$

RANCANGAN “KONFIGURASI”

Prinsip prancangan konfigurasi dari segi *seismic design* adalah kese-derhanaan, semakin sederhana “konfigurasi”, maka proses perancangan struktur semakin sederhana juga, efisiensi dapat diharapkan, keamanan perancangan lebih mantap karena lebih kecil resiko terjadinya gaya-gaya tak terduga yang tidak terencana sejak awal dll.

Perancangan “konfigurasi” didasarkan pada pemahaman “konfigurasi” seperti yang diuraikan di depan, dimana prinsip kesederhanaan sebuah “konfigurasi” berhubungan dengan kesederhanaan bentuk dan ukuran massa bangunan; sifat, ukuran dan tata letak elemen-elemen struktural; dan sifat, ukuran dan tata letak elemen-elemen non struktural harus ditinjau sebagai kesatuan yang utuh. Dengan pemahaman ini bila bentuk massa bangunan tidak sederhana, diantisipasi dengan penataan elemen-elemen struktural dan/atau penataan elemen-elemen non struktural yang bisa menyederhanakan perilaku.

Beberapa prinsip dasar rancangan “konfigurasi”:

- Menyederhanakan perilaku dengan mengadakan siar pemisah struktur (“siar gempa”)
- Menata “elemen-elemen struktural” sehingga dihasilkan keseimbangan kekakuan lateral struktur (ditinjau pada denah)
- Menata “elemen-elemen struktural” sehingga dihasilkan kekakuan lateral yang relatif merata pada seluruh tinggi bangunan

Pemecahan dengan alat mekanis/peredam getaran untuk mengurangi pengaruh getaran pada bangunan akibat “konfigurasi” tidak sederhana, tidak termasuk dalam prinsip rancangan “konfigurasi” ini.,

Contoh rancangan “konfigurasi”:

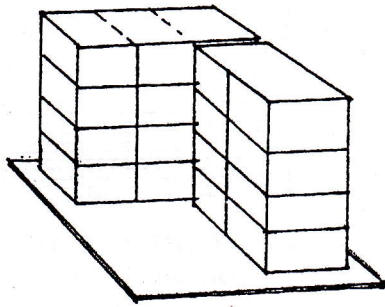
Problem yang dikarenakan bentuk massa berlengan adalah: adanya perbedaan kekakuan lengan dan kekakuan bagian induk pada arah sumbu yang sama, sehingga terjadi torsi pada bagian lengan dan tegangan terusat pada diafragma ditempat pertemuan tersebut.

Pemecahan:

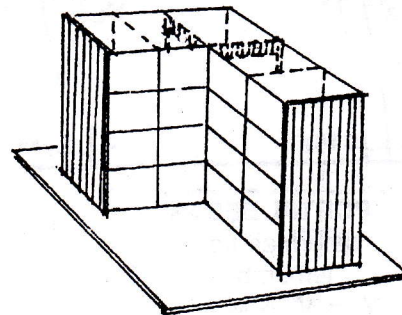
- Penyederhanaan perilaku dengan mengadakan siar pemisah struktur (“siar gempa”), dengan maksud bentuk massa yang asalnya berlengan menjadi sederhana dan

masing masing bagian dapat bergerak sendiri sendiri dengan perilaku sederhana.

- Penataan elemen struktur: bagian yang lemah diperkaku dengan shear wall atau braced frame.



Pemecahan dengan siar pemisah struktur



Pemecahan dengan menambah kekakuan di daerah yang lemah

Makalah ini tidak bermaksud menguraikan semua kemungkinan rancangan "konfigurasi", uraian diatas setidaknya bisa memberikan gambaran bagaimana sebuah "konfigurasi" dirancang. Dengan penggambaran ini bisa dipahami bahwa dalam perancangan bangunan di daerah gempa, menata "elemen struktur" menjadi tuntutan sejak awal proses perancangan bangunan, dan merupakan bagian yang integral dalam proses perancangan arsitektur. Dengan memahami prinsip dasar diatas, dapat dikembangkan rancangan "konfigurasi" nya: bagaimana membuat keseimbangan kekakuan lateral struktur, bagaimana membuat kekakuan lateral yang relatif merata pada seluruh tinggi bangunan. Arsitek yang mampu mengembangkan hal ini, pada saat mencari ide bisa menggantinya untuk dimanfaatkan sebagai "penentu bentuk".

KETERKAITAN STRUKTUR DAN TAMPILAN BANGUNAN

Disain arsitektur yang utuh, memenuhi persyaratan: kegunaan, kekuatan dan estetika (Vitruvius), ketiga persyaratan ini tidak dipandang sebagai persyaratan yang harus mendapat penekanan yang sama semua dalam suatu perancangan, tergantung dari jenis fungsi bangunannya.

Struktur merupakan bagian integral dalam arsitektur⁶, dan menurut Salvatory⁸ struktur merupakan bagian yang esensial dalam arsitektur. Pada sebagian besar bangunan, pemilihan system struktur biasanya merupakan salah satu prioritas utama dalam disain proses⁶.

Cara pandang dan sikap Arsitek tentang bagaimana mengintegrasikan struktur dalam perancangan arsitekturnya berbeda beda, hal ini mempengaruhi tingkat "pengaruh struktur terhadap tampilan bangunan".

- Dari sisi teknologi, struktur dipandang sebagai alat untuk mentransfer gaya gaya luar kedalam mekanisme mendukung beban internal yang berfungsi mensupport konsep arsitektur (Glasser)⁶, atau menurut Schodek⁹ struktur adalah system yang berfungsi menyalurkan beban beban ke tanah.
- Dari sudut pandang yang lebih luas, pendukung dan metode konstruksi dipandang sebagai faktor yang hakiki dan menentukan bentuk: "struktur sebagai penentu bentuk", dan "struktur sebagai prinsip perancangan organisasi"⁶.

Pada setiap bangunan selalu terjadi mekanisme penyaluran gaya akibat beban beban

dari luar, berat sendiri maupun beban akibat penggunaan, yang ditanggung oleh struktur bangunannya. Dengan demikian struktur selalu hadir dalam konsep perancangan arsitektur, tidak peduli bagaimana arsitek menyikapinya dalam proses perancangan.

Struktur sebagai penentu bentuk.

Struktur dipandang sebagai faktor yang dominan dalam proses perancangan dan menentukan karakter estetika bangunan.

Struktur sebagai prinsip perancangan organisasi

Struktur dipandang sebagai prinsip perancangan organisasi dan mekanisme pendukung gaya. Perancangan ruang dan struktur dipikirkan secara simultan, misalnya penentuan ukuran bentang dan jarak kolom dalam denah, dipikirkan dari hal-hal yang berkaitan dengan ruang dan sekaligus hal-hal yang berkaitan dengan struktur, seperti efektifitas bentang balok, metode konstruksi dll. Hubungan yang baik antara tiap bagian dengan seluruh struktur akan menghasilkan karakter arsitektur yang memuaskan dan menyatu, dan mekanisme distribusi gaya yang logis.

Struktur sebagai penentu bentuk yang dijelaskan oleh Glasser⁶ diatas kurang spesifik dan kurang tajam untuk menilai seberapa dalam atau dangkal keterkaitan struktur dengan tampilan bangunan.

Howard⁷ mengklasifikasikan peranan struktur pada tampilan bangunan secara lebih spesifik, mulai dari "bentuk karena struktur" sampai "struktur demi kepentingan struktur", sebagai berikut.

Minimal Structure.

Menekankan pemakaian material minimal sesuai dengan kebutuhannya mendukung gaya dalam. Bentuk dari komponen struktur mengikuti besarnya gaya dalam yang bekerja pada tiap penampang, sehingga dihasilkan bentuk yang unik, Howard mengatakan "*it is characterized by a high level of mechanical efficiency*" (pengertiannya berbeda dengan eko-nomis). *Mechanical efficiency* lebih merupakan "potensi estetis" yang terkandung didalam struktur yang sengaja digali dan ditampilkan oleh Arsitek, jadi lebih terfokus pada kepuasan visual daripada mendapatkan hasil yang murah atau efisien. Dalam uraiannya Howard memberikan contoh sebuah portal kaku satu bentang yang ditumpu jepit dikedua kakinya: akibat beban gravitasi, pada balok terjadi momen positif didaerah lapangan (dibagian tengah bentang balok), momen negatif di daerah joint dengan kolom; sedangkan pada kolom terjadi momen negatif di kolom bagian atas didaerah joint dengan balok, dan momen positif pada kolom didaerah tumpuan. Penampilan dengan struktur minimal akan mengikuti besar kecilnya momen positif dan momen negatif pada kolom kolom dan balok portal, untuk membentuk portal tersebut. Karena momen disetiap penampang kolom dan balok berbeda beda, maka besar penampang juga berbeda beda, disesuaikan dengan kebutuhan untuk melawan momen yang bekerja. Pendekatan ini untuk mendapatkan garis besar bentuk portal akibat dari gaya yang paling dominan (dalam hal ini momen). Struktur minimal memang unik, tapi belum tentu dapat direalisasikan karena mungkin sulit dikerjakan atau mahal, padahal struktur merupakan elemen yang penting dan harus dapat direalisasikan. Oleh karena itu menurut Howard bangunan dapat dikatakan tampil dengan struktur minimal apabila: pertama tampilannya ditetapkan berdasarkan "*mechanical efficiency*", tapi harus bisa dilaksanakan dengan teknologi pada masanya. Dia mencontohkan lengkung Ghotic yang dibuat dengan lengkung lingkaran sesuai kemampuan teknologi masa itu, bukan

lengkung yang benar benar funicular, tapi dikelompokkan dalam struktur yang minimal.

Adequete Structure,

Pada dasarnya struktur didisain berdasarkan penampang kritisnya, oleh karena itu tampilannya tidak memperlihatkan mekanisme gaya yang bekerja didalamnya. Pertimbangan pertimbangan yang dilibatkan seperti: efisiensi perancangan, efisiensi pengerjaan, metode konstruksi dll.

Sculpture structure.

Fungsi struktur sebagai penyalur beban saja, tampilan bangunan lebih dihasilkan dari pertimbangan non structural. Struktur tunduk pada bentuk, cenderung berlebihan dan tidak efisien. Dicontohkan gedung TWA di John F. Kennedy International Air Port, yang bentuknya sangat ekspresif, tapi karena bentuk tersebut tidak mengikuti prinsip mekanika, diperlukan rib rib penguat dan penebalan kulit shellnya.

Pretentious structure.

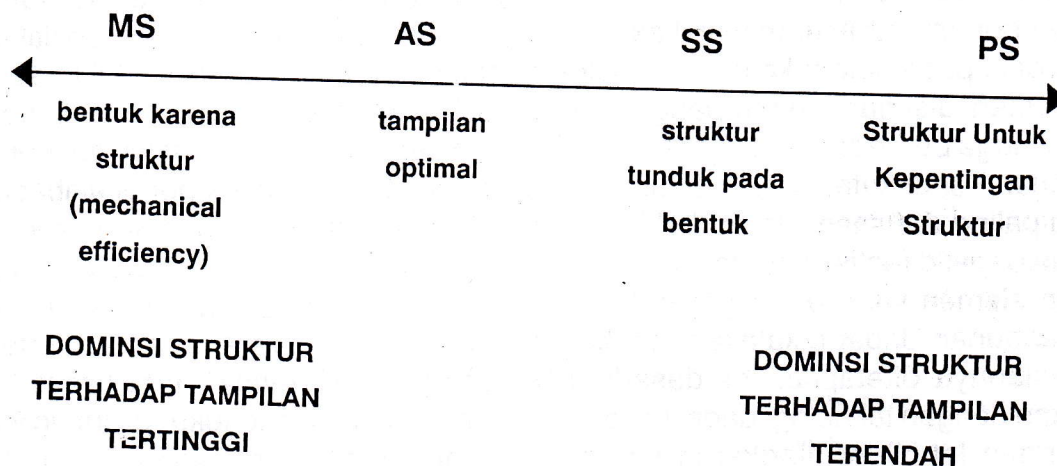
Biasanya diberi label "struktur untuk kepentingan struktur". Bentuk hanya untuk menarik perhatian atau *fashion*. Dicontohkan perancangan yang salah mengadopsi struktur dari bangunan lain demi bentuk yang ingin ditampilkan, akibatnya tidak sesuai, tidak efisien dll. Pretentious structure mirip dengan sculpture structure, kesamaannya adalah tampilan bangunan dipertimbangkan dari pertimbangan non struktur, cenderung tidak efisien, struktur mengikuti bentuk. Perbedaananya terletak pada kadar integrasi struktur dalam perancangan. Pada *sculpture structure*, walaupun struktur mengikuti bentuk, tetap dipikirkan secara integral dalam perancangan bangunan, sedangkan pretentious structure pemikiran tidak integral dan parsial.

Ringkasan:

Pengaruh struktur terhadap tampilan bangunan:

1. Struktur sebagai penentu bentuk (Glasser)

- *Minimal Structure* (Howard) - MS
- *Adequete Structure/ optimal structure* (Howard) - AS
- *Sculpture structure* (Howard) - SS
- *Pretentious structure* (Howard) - PS



2. Struktur sebagai prinsip perancangan organisasi

Pengaruh gempa terhadap tampilan bangunan dapat dinilai berdasarkan prinsipnya Glasser dan Howard, dengan mengadakan beberapa penyesuaian sebagai berikut.

1. Struktur sebagai penentu bentuk:

"Struktur" dalam konteks diatas, menurut Glasser⁶ adalah "pendukung dan metode konstruksi", sedangkan Howard⁷ mengartikan sebagai "mekanika gaya", yang diartikan sebagai mekanisme "menterjemahkan"/ "merubah" beban luar menjadi gaya dalam, Howard meninjau mekanika gaya terhadap beban statis dan khususnya beban gravitasi. Siegel¹⁰ mengulas prinsip ini dengan sangat detil, termasuk pengaruh beban lateral. Karena gempa merupakan beban dinamis, perlu ada interpretasi lebih lanjut mengenai "mekanika gaya", "pendukung" dan "metode konstruksi" yang digunakan Glasser dan Howard, sehingga sesuai digunakan untuk menilai "pengaruh" gempa terhadap tampilan bangunan.

- Gempa merupakan beban dinamis yang secara dominan bekerja pada arah lateral. "Konfigurasi" berpengaruh sangat besar terhadap perilaku bangunan yang pada akhirnya, bersama dengan massa dan percepatan tanah menentukan besarnya gaya gaya yang bekerja pada komponen komponen/ elemen elemen struktur pendukung beban lateral sebagai beban gempa, proses selanjutnya terjadi mekanisme perubahan beban menjadi gaya dalam seperti yang diuraikan Glasser (uraian ini sangat disederhanakan dengan menggunakan pemahaman beban gempa seperti beban statis/ statis ekuivalen). Mekanika gaya baru dapat dianalisis setelah beban gempa diketahui, sedangkan beban gempa besarnya sama dengan gaya inertiya yang besarnya dipengaruhi oleh percepatan tanah, massa bangunan dan "konfigurasi". Karena perannya yang besar dalam menentukan mekanika gaya, maka "konfigurasi" dapat ditetapkan sebagai sebagai faktor penentu tampilan bangunan. "Konfigurasi" juga dipadankan dengan "pendukung" nya Glasser, karena pengertian "konfigurasi" mencakup: sifat dan tata letak elemen struktural (pendukung).
- Metode konstruksi, pengertainya sama dengan pemahaman Glasser, dalam konteks ini dikaitkan dengan metode mengkonstruksikan suatu prinsip tertentu dari *seismic design*.

Minimal Structure:

- Nampak ada usaha menggali, mengolah dan menampilkan "potensi estetis" dari pemecahan "konfigurasi" dan/ atau menampilkan suatu metode khusus dalam *seismic design* untuk ditampilkan pada tampilan bangunannya. Metode khusus dalam pengertian ini adalah yang terkait dengan olah bentuk tampilan.
- Efisiensi bukan merupakan tujuan, kalau ternyata terjadi hanyalah sebagai akibat.

Optimal structure:

- Tidak ada usaha menggali, mengolah dan menampilkan "potensi estetis" dari pemecahan "konfigurasi" dan/ atau menampilkan suatu metode khusus dalam *seismic design* untuk ditampilkan pada tampilan bangunannya.
- Optimasi sebagai menjadi pertimbangan penting, Konfigurasi tidak ekstrim, cenderung sederhana.

Sculpture structure

- Tidak ada usaha menggali, mengolah dan menampilkan "potensi estetis" dari pemecahan "konfigurasi" dan/ atau menampilkan suatu metode khusus dalam

seismic design untuk ditampilkan pada tampilan bangunannya.

- Struktur mengikuti bentuk, ada suatu konsep yang kuat yang bukan struktur untuk menghasilkan bentuk/ tampilan bangunan.
- "Konfigurasi" cenderung ekstrim/ sangat tidak sederhana ("konfigurasi" yang ekstrim cenderung mengarah pada "struktur mengikuti bentuk")
- Integrasi struktur dengan perancangan arsitektur baik, walaupun struktur tidak menjadi penentu bentuk/ tampilan bangunan yang penting.

Pretentious structure :

- Tidak ada usaha menggali, mengolah dan menampilkan "potensi estetis" dari pemecahan "konfigurasi" dan/ atau menampilkan suatu metode khusus dalam *seismic design* untuk ditampilkan pada tampilan bangunannya.
- Integrasi struktur dengan perancangan arsitektur tidak baik, struktur demi kepentingan struktur, bentuk demi kepentingan bentuk, tidak jelas apakah ada suatu konsep yang kuat yang bukan struktur untuk menghasilkan bentuk/ tampilan bangunan.
- "Konfigurasi" cenderung ekstrim/ sangat tidak sederhana ("konfigurasi" yang ekstrim cenderung mengarah pada "struktur mengikuti bentuk")

2. Struktur sebagai prinsip perancangan organisasi

- Penataan elemen elemen struktur berdasarkan prinsip "konfigurasi" yang sederhana.
- Perancangan ruang dan struktur dipikirkan secara simultan.

STUDI KASUS

A. Polytechnic Centre of The University Of Granada, arsitek: M.A. Graciani, Liopis dan J.E. Martinez de Angulo.

Data:

- Bangunan 9 lantai dengan luas lantai 245.400 sq. ft ini berada di kampus University of Granada di Spanyol, pembangunannya dikerjakan tahun 1998 – 2000.
- Struktur bangunan dirancang dengan percepatan tanah 0.25 gals, waktu ulang gempa 500 tahun.
- "Konfigurasi": sangat sederhana berbentuk bangunan kotak prismatis dan sangat simetri
- Perbedaan berat massa pada tiap lantai tidak berbeda jauh, titik berat massa berada disekitar pusat massa (dalam denah), denah relatif simetri.

Analisis:

Sistem struktur dan konstruksi:

- Sistem struktur bangunan adalah rangka kaku dengan shear wall. Penempatan shear wall di keempat ujung denah di bidang fasade sangat baik untuk menahan torsi, karena lengan momennya maksimal.
- Core shaft, tangga dll. dibuat dari beton bertulang, beratnya akan mempengaruhi letak pusat massa, sedangkan kekakuannya akan mempengaruhi juga perilaku strukturnya (letak pusat kekakuan), dengan penempatannya yang simetri maka relatif tidak terjadi torsi.

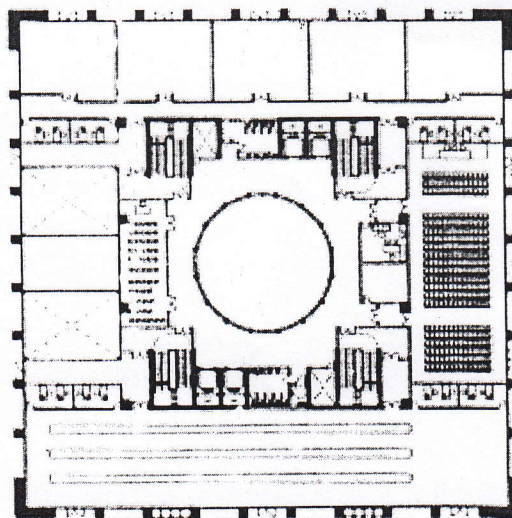
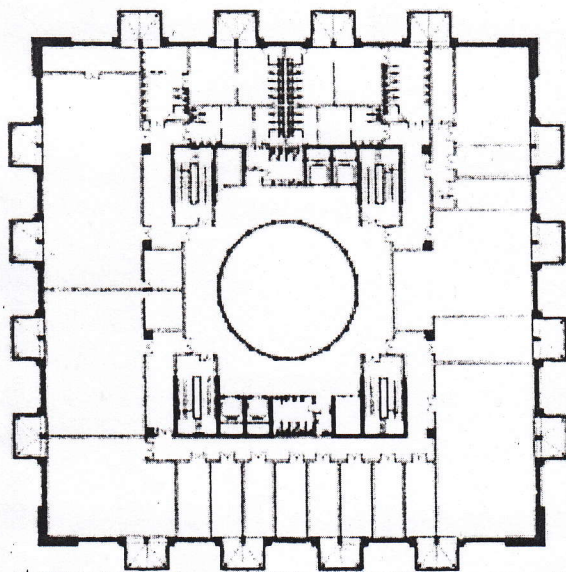
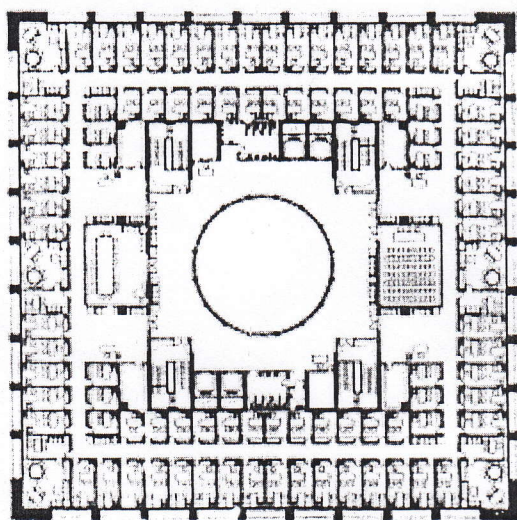
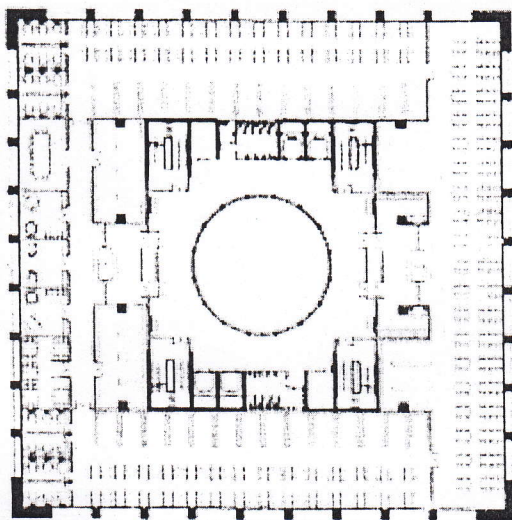
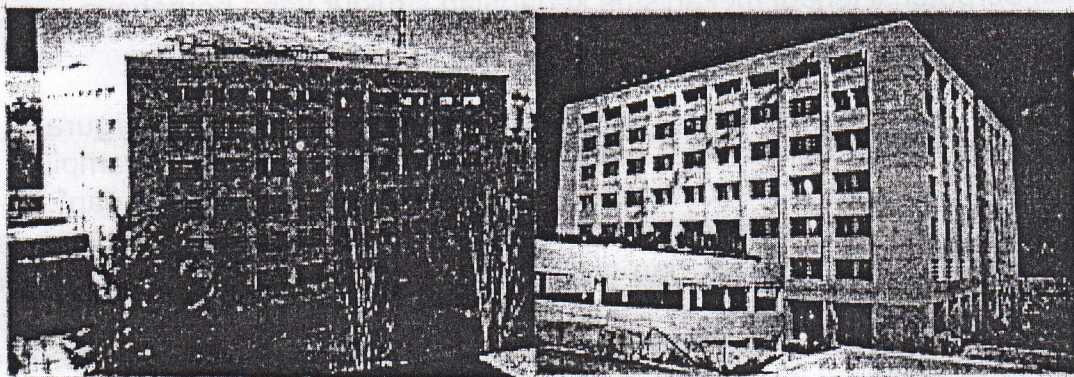


Konfigurasi :

- Distribusi kekakuan antar tingkat relatif merata.
- Respons/ perilaku bangunan dengan "konfigurasi" seperti ini sangat sederhana dan tidak berpotensi terjadi mekanisme kegagalan struktur yang berbahaya.

Kesimpulan:

- Penataan elemen elemen struktural berdasarkan prinsip "konfigurasi" yang sederhana, ruang dan struktur terintegrasi dengan baik, maka penampilan dapat dikelompokkan dalam "struktur sebagai prinsip organisasi perancangan".
- Semua elemen yang sejenis ditampilkan secara relatif seragam, tidak nampak ada usaha menggali, mengolah dan menampilkan "potensi estetis" dari pemecahan "konfigurasi" dan/ atau menampilkan suatu metode khusus dalam *seismic design* untuk ditampilkan pada tampilan bangunannya, maka tampilan dapat dikelompokkan dalam *optimal structure*



B. Metropolitan Chatedral of Managua, arsitek Legorreta Arquitectos.

Data:

- Gereja Kaholik ini terletak di Managua, Nikaragua, dibangun tahun 1993 menggantikan bangunan gereja lama yang rusak karena gempa pada tahun 1972. Kapasitas bangunan gereja ini 2000 umat.
- "Konfigurasi":
- Ada menara dan beberapa tonjolan massa bangunan.
- Atap bangunan terdiri dari 63 kubah yang berfungsi untuk ventilasi dan penerangan.
- Ukuran denah $\pm 35.00 \text{ m} \times 42.00 \text{ m}$ (diperkirakan dari skala).
- Didalam interior bangunan ada 4 buah kolom dengan penampang berbentuk + ("kolom silang"), dengan jarak terjauh kurang lebih 14.00
- Tinggi dinding keliling ± 20.00 dan ujung tertinggi kubah $\pm 35.00 \text{ m}$.

Analisis:

Sistem struktur dan konstruksi :

- Fasade keliling berupa struktur dinding pemikul / geser yang dibuat dari beton bertulang.
- Kubah kubah atap didukung oleh susunan balok grid, balok balok grid tersebut didukung oleh "balok bidang" yang ditumpu oleh empat buah kolom interior yang penampangnya berbentuk + (silang) dan dinding pemikul yang berada difasade bangunan.
- Dengan tata letak seperti ini, struktur membentuk kotak yang seolah olah diberi "sekat" oleh balok bidang dengan empat buah kolomnya.

Konfigurasi:

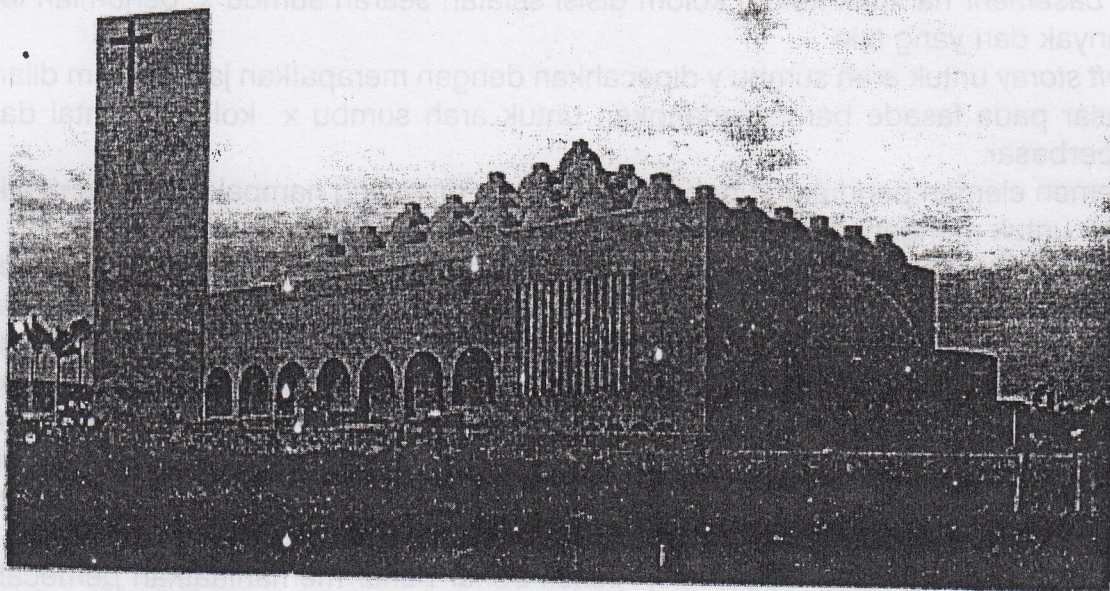
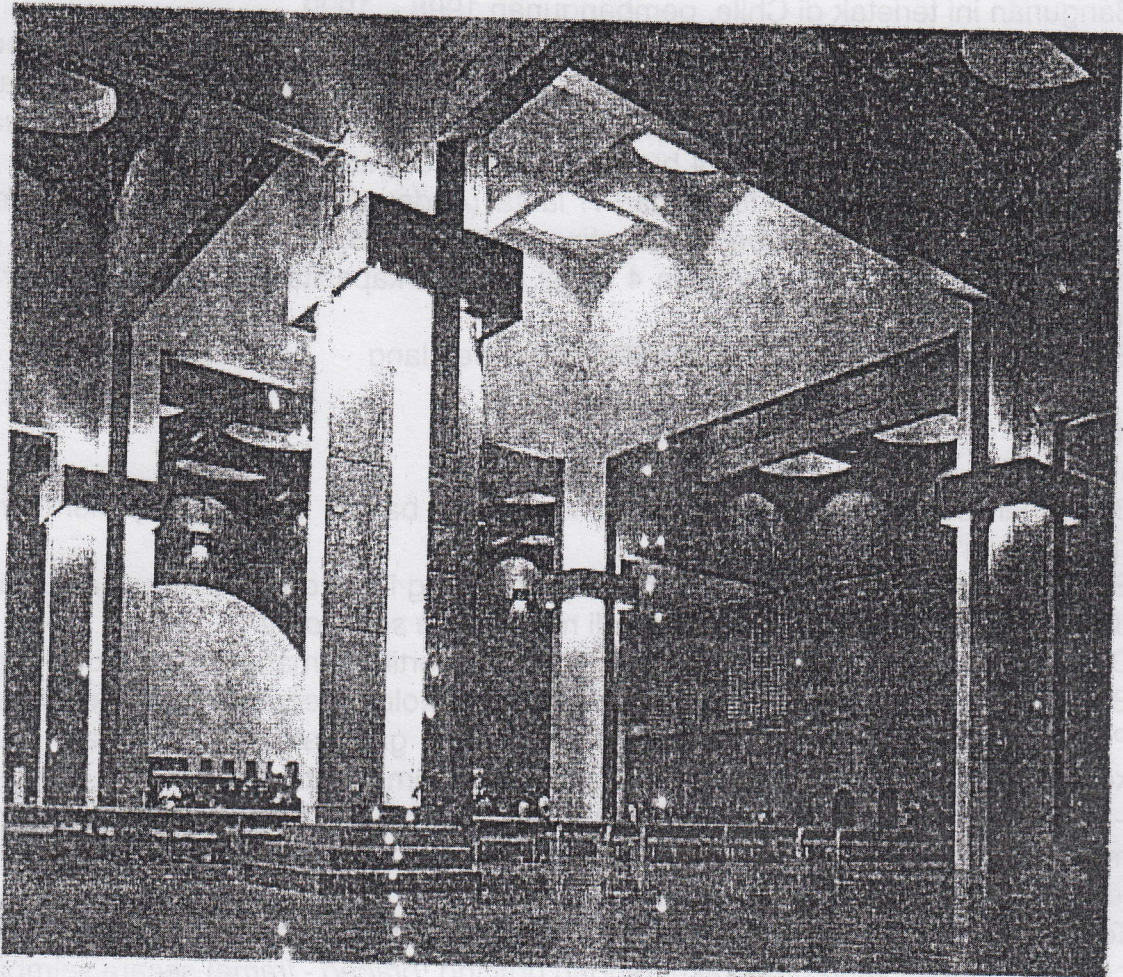
- Menara yang menempel pada bangunan induk membentuk "konfigurasi" (bentuk massa) *set back*. Bidang beton yang membentuk menara nampak sangat kaku dan kokoh untuk menghadapi mekanisme *set back*.
- Altar ditempatkan dibagian yang menonjol keluar denah berbentuk setengah silinder dengan atap setengah kubah. Dilihat dari proporsinya, tonjolan ini tidak terlalu signifikan (panjang tonjolan $\pm \frac{1}{4}$ dalamnya bangunan induk, bentang tonjolan = setengah bentang yang menempel pada bangunan induk, menurut buku pedoman konfigurasi ini termasuk sederhana) .
- Nave merupakan ruang yang ditempatkan pada bangunan silinder dengan atap kubah yang dihubungkan dengan selasar pendek tertutup, tidak jelas apakah ada pemisahan struktur antara bangunan Nave ini dengan bangunan induknya.
- Dengan ketinggian atap 20 meter, massa atap jauh dari dasar bangunan, berarti gaya inerti yang timbul akibat percepatan getaran gempa dan berat massa atap tersebut akan menghasilkan momen yang besar pada elemen vertikal pendukung gempa. Struktur bidang yang membentuk kotak yang disekat didalamnya membuat bangunan sangat kaku dan sangat kokoh menghadapi gaya geser gempa serta momen yang besar.
- Ditinjau dari bentuk massa dengan beberapa tonjolan, titik pusat massa atap yang jauh dari dasar, maka "konfigurasi" cenderung tidak sederhana,
- Struktur yang begitu masif dan kokoh, menampilkan kemampuannya menghadapi "konfigurasi" kurang sederhana (khususnya bentuk *set back*, beberapa tonjolan, dan letak titik pusat atap yang tinggi).

- Secara keseluruhan dengan memahami definisi “konfigurasi”, dapat dikatakan “konfigurasi” bangunnya relatif sederhana.

Kesimpulan:

- Ruang dan struktur terintegrasi dengan baik, bahkan struktur yang nampak menggambarkan ruang dalamnya, maka penampilan dapat dikelompokkan dalam “struktur sebagai prinsip organisasi perancangan”.
- Dengan “konfigurasi” yang relatif sederhana, serta tidak nampak ada usaha menggali, mengolah dan menampilkan “potensi estetis” dari pemecahan “konfigurasi” dan/atau menampilkan suatu metode khusus dalam *seismic design* untuk ditampilkan pada tampilan bangunannya, maka penampilan dapat dikelompokkan dalam *optimal structure*.





C. Manantiales Building, arsitek Luis Izquierdo dkk.

Data:

- Bangunan ini terletak di Chile, pembangunan 1998 - 1999.
- Bangunan kantor real estate yang masa pembangunannya 1998 - 1999 ini, ground floornya berfungsi sebagai retail store, terletak di Santiago Chile. Bentuk massa bangunan ini disesuaikan dengan lokasinya yang berada dipojok jalan. Ruang dirancang *open plan*, dengan 4 buah kolom interior pada lantai 4 keatas.
- Bagian depan bangunan terdiri dari 17 lantai (A) dan dibagian belakang menempel bagian lain bangunan berbentuk L setinggi 10 lantai (B), dibawah ground floor ada basement tempat parkir sedalam 4 lantai dengan kapasitas parkir 252 kendaraan roda empat.
- Bangunan ini menggunakan konstruksi beton betulang

Analisis:

"Konfigurasi":

- Bangunan bagian A (17 lantai) bertemu dengan bagian B (10 lantai) membentuk "konfigurasi" *set back*.
- Bangunan bagian A ketinggian lantai dasar kurang lebih dua kali tinggi lantai lantai diatasnya, sehingga berpotensi terjadi mekanisme *soft storey*.
- Diskontinuitas kolom yang berada pada bidang vertikal dimana bagian A dan bagian B bertemu, yang nampak pada perbedaan letak kolom denah lantai 3 dan lantai 4
- Penempatan core sebagai salah satu pendukung gaya lateral bila ditinjau secara keseluruhan bangunan tidak simetri pada kedua sumbu (utara – selatan = sb y, timur – barat = sb x), hal ini nampak jelas pada lantai 11 keatas, berpotensi terjadi mekanisme torsi.

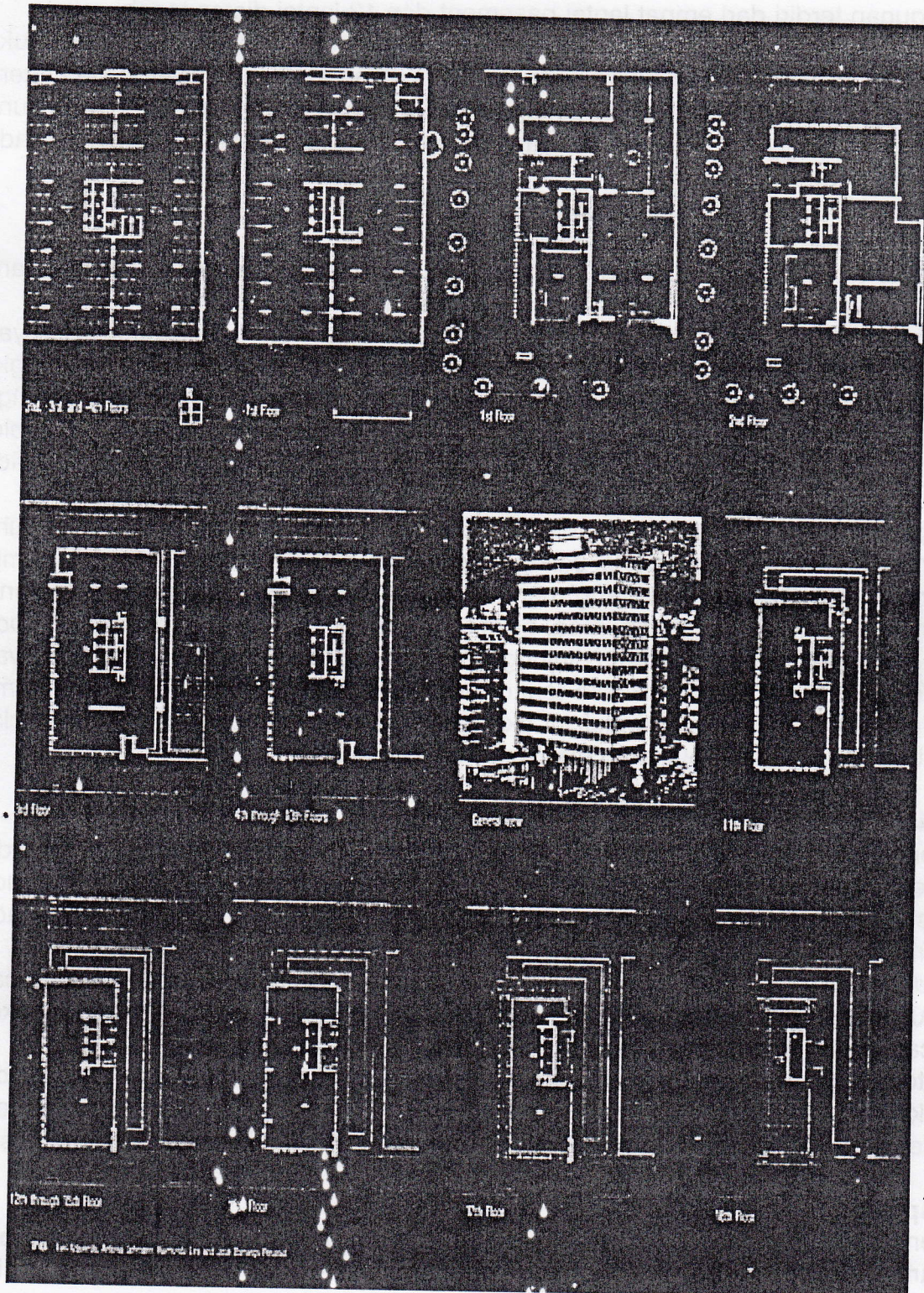
Pemecahan terhadap problem "konfigurasi":

- Torsi diantisipasi dengan penempatan elemen pendukung beban lateral shear wall, core dan rangka yang diperkaku dengan bracing (*braced - frame*) secara seimbang. Di *basement* nampak kolom kolom disisi selatan searah sumbu x, berjumlah lebih banyak dari yang lain
- *Soft storey* untuk arah sumbu y dipecahkan dengan merapatkan jarak kolom dilantai dasar pada fasade barat, sedangkan untuk arah sumbu x kolom dilantai dasar diperbesar.
- Elemen elemen pendukung beban lateral yang dipasang nampaknya dimanfaatkan juga untuk mengantisipasi mekanisme "set back".
- Prinsip kekakuan antar tingkat, relatif merata tidak terjadi diskontinuitas, membesar kebawah secara berjenjang, dimanfaatkan oleh arsitek sebagai "*form determinant*" secara kreatif. Prinsip ini bisa ditangkap dengan jelas pada tampak barat, sedangkan pada tampak selatan nampak kontradiktif, karena bagian atas bangunan nampak lebih kaku dari bagian bawahnya karena braced frame pada lantai 10 keatas nampak lebih kaku dari bagian bawahnya. Kalau diamati lebih teliti, ternyata tampilan ini merupakan hasil kombinasi antara rangka fasade selatan dengan shear wall dan rangka diinterior bangunan.

Yang sangat menarik dalam disain ini, Arsitek benar benar memanfaatkan pemecahan tata letak struktur untuk ditampilkan secara kreatif

Kesimpulan:

- Olah penampilan bangunan (tampak) memanfaatkan tata letak elemen struktur, prinsip keseimbangan, kekakuan struktur sebagai "penentu bentuk". Bangunan ini mampu menampilkan "potensi estetis" dari pemecahan "konfigurasi" untuk diekspos sebagai tampilan bangunan, oleh karena itu rancangan bangunan ini dapat dikelompokkan dalam "*minimal structure*"



D. The Continental Engineering Corporation (CEC) Building, Arsitek Artech Inc.

Data:

- Bangunan ini milik perusahaan konstruksi the Continental Engineering Company salah satu perusahaan konstruksi terbesar di Taiwan, terletak di Taipei, Taiwan, dibangun tahun 1999.
- Bangunan terdiri dari empat lantai basement dan 13 lantai diatas tanah.
- Objectif disain: bangunan dapat menampilkan citra perusahaan konstruksi, pendukung gempa ditampilkan pada bidang eksterior (fasade) dan interior bebas kolom, kekakuan struktur cukup untuk menghadapi torsi, struktur yang punya "gaya" fungsional dan unik, struktur yang mengoptimalkan ukuran bangunan terhadap batasan peraturan terhadap site
- Bangunan terletak di wilayah resiko gempa tinggi.
- Distribusi beban disertai lantai diusahakan simetri.
- Struktur terdiri dari dua bagian, bagian bawah satu lantai dengan ketinggian lantai sekitar dua kali lantai diatasnya, dan bagian tipikal diatasnya.
- Bagian bawah: pada bagian ini terdapat delapan buah kolom beton bertulang yang sangat besar (*porticos*) di sisi luar denah bangunan. Delapan *porticos* ini dihubungkan dengan balok keliling yang besar, balok balok lantai yang membentuk grid, sehingga membentuk "meja" yang dapat berdiri dengan sangat kokoh dan stabil. Ada kolom kolom didalan ruang untuk mendukung beban gravitasi lantai dua, yang tidak diteruskan ke lantai lantai tipikal.
- Bagian tipikal: struktur terdiri dari delapan buah kolom besar yang secara keseluruhan membentuk empat buah portal saling bersilangan dipuncak bangunan. Di keempat ujung ada *struts* yang dirancang mendukung berat sendirinya saja, yang berfungsi menyerap gaya tarik akibat gempa, gaya tarik tersebut ditruskan ketanah oleh *porticos*. *Struts* yang saling bertemu diujungnya, dihubungkan dengan balok pendek yang akan bekerja secara elastik bila terjadi *over load* pada sistem. Bila terjadi gempa yang sangat besar, balok pendek ini akan saling terputar (lentur dan torsi) dan melalui sifat daktail joint tersebut akan menyerap energi gempa.

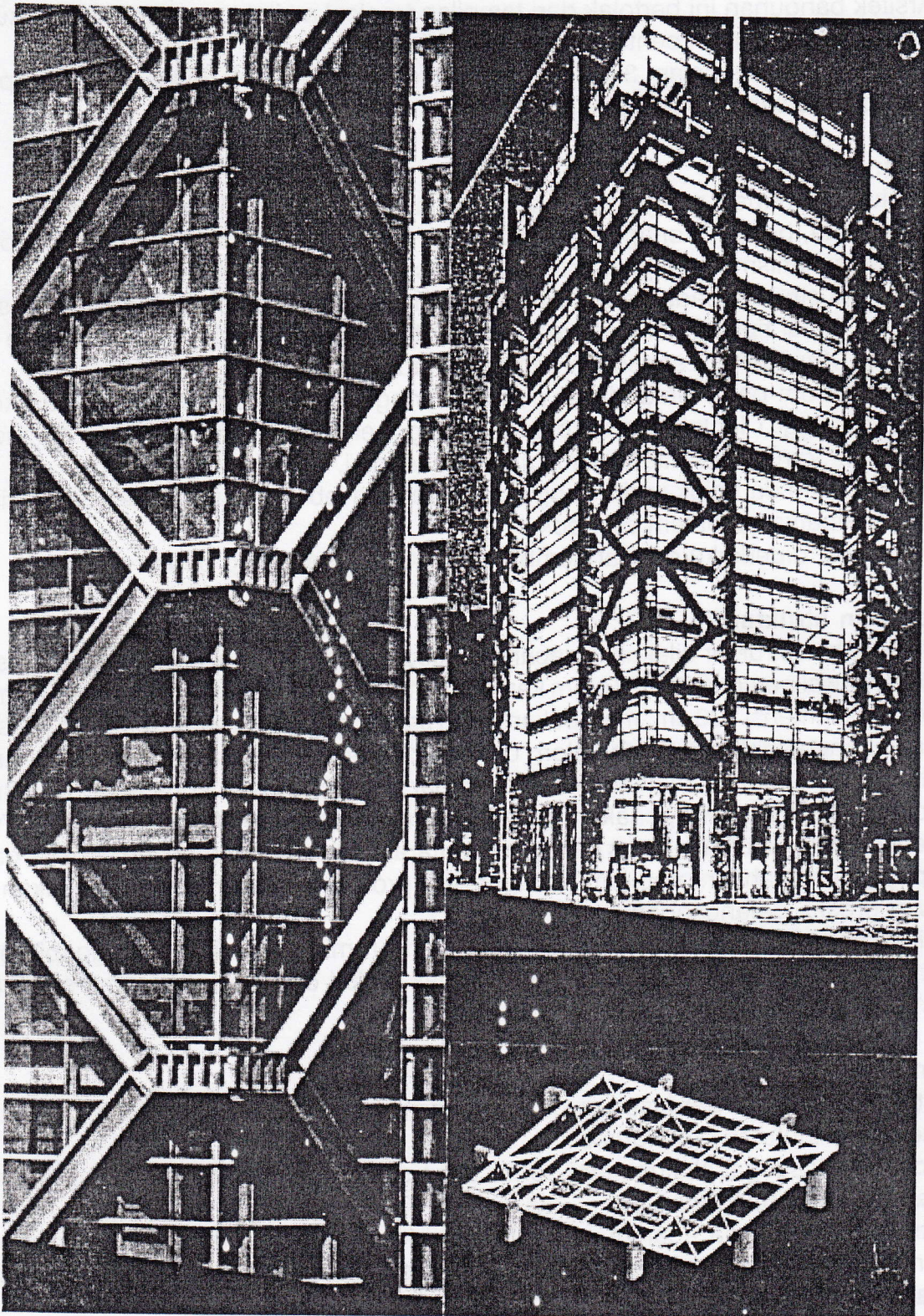
Analisis:

- "Konfigurasi" bangunan simetri, penataan elemen pendukung gempa sangat ideal karena ditempatkan pada bagian terluar (fasade) sehingga sangat tahan terhadap torsi (pada denah bangunan) dan memberikan reaksi yang maksimal terhadap momen lentur akibat gaya lateral.
- Struktur lantai (gambar D3) menunjukkan bagaimana diafragma horisontal dirancang untuk meneruskan semua gaya lateral ke pendukung vertikal, dan sistem dapat bekerja secara tiga dimensi dengan baik.
- Metode konstruksi khusus: pemecahan penyerapan energi gempa ditampilkan secara unik berupa *struts* yang dihubungkan dengan balok ujung. Balok balok ujung tersebut didetil secara daktail, yang dapat dilihat dari sirip sirip untuk menahan torsi/ geser.

Kesimpulan:

- Penataan ruang dan struktur terintegrasi dengan baik, oleh karena itu tampilan bangunan ini dapat dikelompokkan dalam struktur sebagai prinsip organisasi perancangan
- Penampilan bangunan (tampak) memanfaatkan tata letak elemen struktur, prinsip

prinsip keseimbangan , kekakuan struktur sebagai penentu bentuk, selain itu juga mengekspos metode khusus *seismic design*, yang nampak jelas dan tertangkap secara visual, oleh karena itu rancangan bangunan ini dapat digolongkan dalam "minimal structure"



E. Wisma Dharmala Sakti Jakarta Indonesia, arsitek Paul Rudolf dan Johannes Gunawan.

Data:

- Bangunan ini adalah perkantoran sewa setinggi 24 lantai ditambah 1 lantai *basement*.
- Arsitek bangunan ini bertolak dari tampilan tropical arsitektur, yang unsur unsurnya diadopsi dari bentuk bentuk arsitektur tradisional.
- Bangunan dibagi dalam 3 bagian, yaitu: blok podium, blok tower, dan blok parkir. Tiga blok tersebut secara struktural disatukan secara fisik.

Analisis:

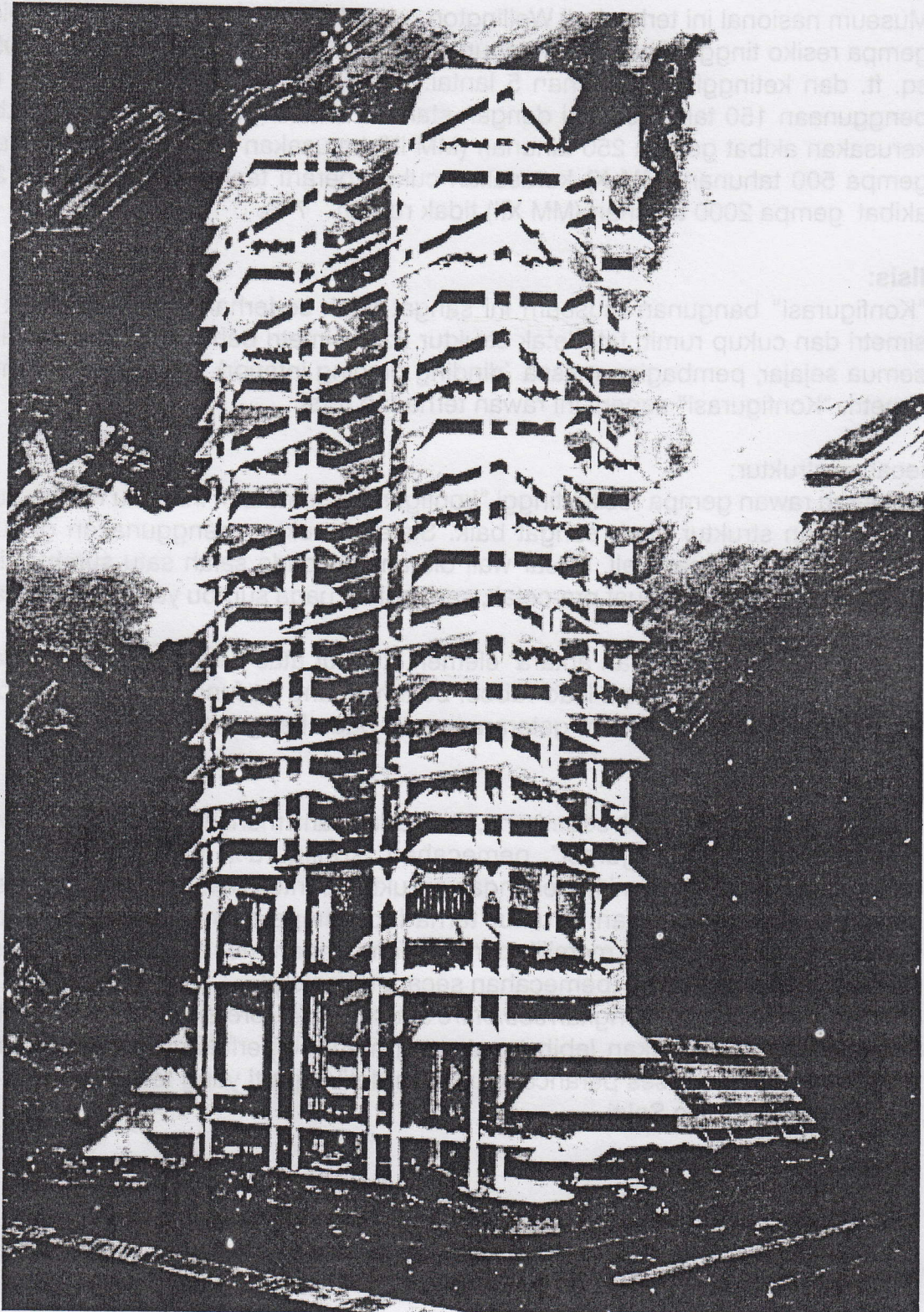
- Bentuk bangunan sangat tidak sederhana, tata letak struktur juga sangat tidak sederhana, berarti "konfigurasi" bangunan sangat tidak sederhana dan berpotensi terjadi mekanisme kegagalan struktur: *soft storey*, *torsi*, *set back*.
- Pola grid struktur pada denah diagonal, core struktural terletak disalah satu sudut denah, lantai tipikal tidak seragam ada 3 tipe denah tipikal, ditambah 2 tipe pent house. "Konfigurasi" seperti ini rentan terhadap torsi.
- Kolom kolom pada lantai dasar punya ketinggian yang tidak seragam, ada kolom yang setinggi 1 lantai, 2 lantai dan ada yang menjulang setinggi 7 lantai (31 meter). Problem "konfigurasi" adalah *soft storey*, dan torsi.
- Blok podium dan blok parkir yang luas denahnya lebih besar dari luas denah tipikal mengakibatkan problem *set back*.
- Diafragma diperkaku dengan tembereng listplank sekeliling denah.

Pemecahan struktur¹¹:

- Pemecahan struktur dilakukan secara terintegrasi dengan rancangan arsitektur sejak proses awal perancangan. Kolom kembar yang diantaranya setinggi 7 lantai/ 21 meter dengan dimensi 120 cm, merupakan salah satu contoh kerja sama tersebut, awalnya Arsitek menetapkan 1 buah kolom dengan dimensi yang ternyata terlalu langsing, akhirnya ditetapkan menjadi kolom kembar setelah proses konsultasi. Konstruksi kolom tersebut menggunakan material komposit (*steel reinforced concrete*). Yang penting untuk dicatat proses kerja sama antara Arsitek dan Perancang struktur dalam upaya memecahkan problem "konfigurasi" / problem struktur lainnya dilakukan sejak awal proses perancangan.
- Disini nampak bagaimana "konfigurasi" yang rumit ide Arsitek ditanggapi secara positif oleh Perancang struktur dan ditindak lanjuti dengan kerja sama sejak awal proses perancangan.

Kesimpulan:

- Titik tolak ide tidak berdasarkan pertimbangan struktur, lebih tepat dikatakan struktur mengikuti tuntutan "konfigurasi".
- Konfigurasi sangat ekstrim, tapi pemecahan strukturnya terintegrasi dengan bentuk dan tampilan bangunan
- Struktur tampil apa adanya, seluruh tampak bangunan selain jendela/ pintu dan dinding pengisi merupakan elemen elemen structural (kolom, tembereng listplank, balok, core, shaft).
- Dengan karakteristik seperti ini tampilan bangunan dapat digolongkan *sculpture structure*.



F.The National Te Papa Tongarewa Museum of New Zealand, arsitek Jasmax .**Data:**

- Museum nasional ini terletak di Wellington, yang terletak di New Zealand di wilayah gempa resiko tinggi, dibangun tahun 1993 – 1998, luas lantai bangunan 595,000 sq. ft. dan ketinggian bangunan 5 lantai. Bangunan ini dirancang dengan masa penggunaan 150 tahun sesuai dengan standar seismik New Zealand, probabilitas kerusakan akibat gempa 250 tahunan (MM IX) kerusakan tidak berarti 45 %, akibat gempa 500 tahunan (MM X) kerusakan cukup berarti tapi dapat diperbaiki 26 %, akibat gempa 2000 tahunan (MM XII) tidak runtuh 7 %.

Analisis:

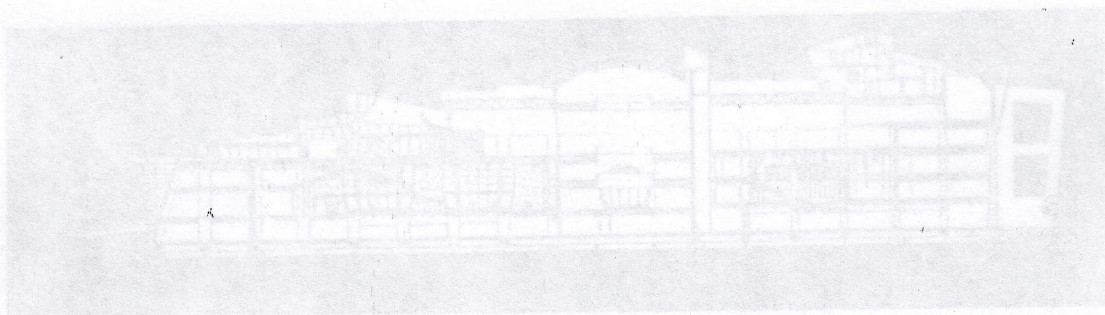
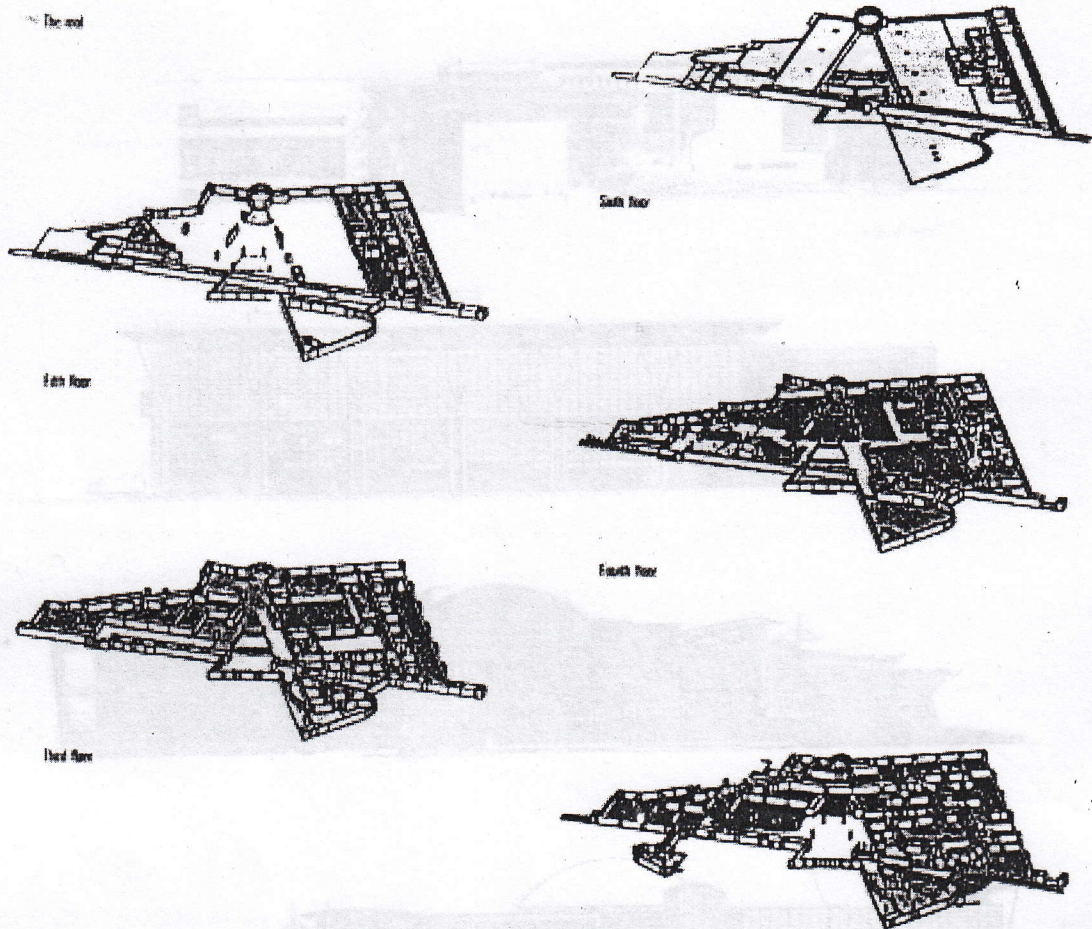
- “Konfigurasi” bangunan museum ini sangat tidak sederhana/ rumit, bentuk tidak simetri dan cukup rumit, tata letak struktur tidak simetri bahkan sumbu portal tidak semua sejajar, pembagian massa (dinding dinding interior) tidak merata dan tidak simetri. “Konfigurasi” seperti ini rawan terhadap torsi.

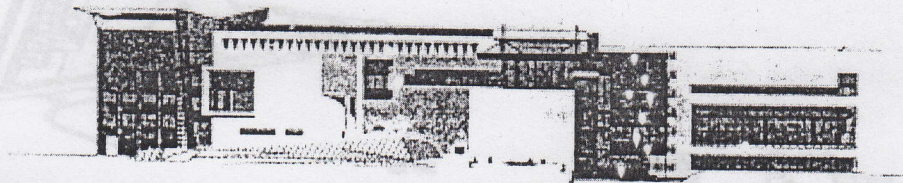
Pemecahan struktur:

- Didaerah rawan gempa resiko tinggi “konfigurasi” semacam ini tentu membutuhkan pemecahan struktur yang sangat baik. Sistem struktur menggunakan gabungan rangka dengan shear wall. Shear wall diarahkan pada salah satu sumbu dimana balok dan plat lantai dibuat pra-cetak, sedangkan pada sumbu yang satunya rangka kaku.
- Dibagian dasar, pertemuan antara elemen struktur atas dengan pondasi dipasang 142 buah *base-isolator* (tipe lead-rubber bearing) yang berfungsi menyerap sebagian energi gempa dan meredam getaran gempa pada bangunan.

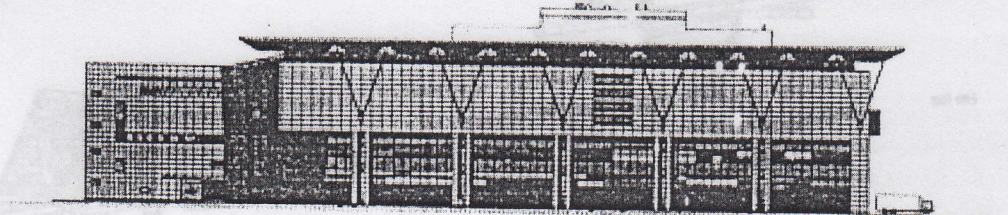
Kesimpulan:

- “Konfigurasi” ekstrim tidak sederhana, tidak ada usaha menampilkan “potensi estetis” dari pemecahan “konfigurasi”, pemecahan “konfigurasi” tidak diekspose untuk ditampilkan. Struktur demi kepentingan struktur, bentuk demi kepentingan bentuk.
- Dalam hal ini pemecahan struktur terhadap gempa sepenuhnya ada ditangan perancang struktur, yang memilih pemecahan dengan menggunakan base-isoator untuk meredam getaran (pemecahan secara teknologi).
- Penampilan dapat digolongkan *sculpture structure* atau *pretentious structure*, namun tidak mudah menentukan lebih tepat yang mana, diperlukan informasi lain yang menggambarkan proses perancangan lebih detil seperti yang terdapat pada kasus E – Wisma Dharmala Sakti.

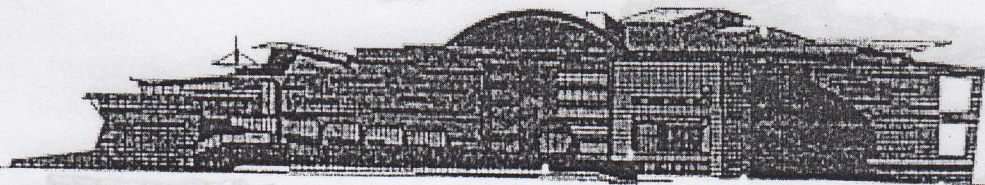




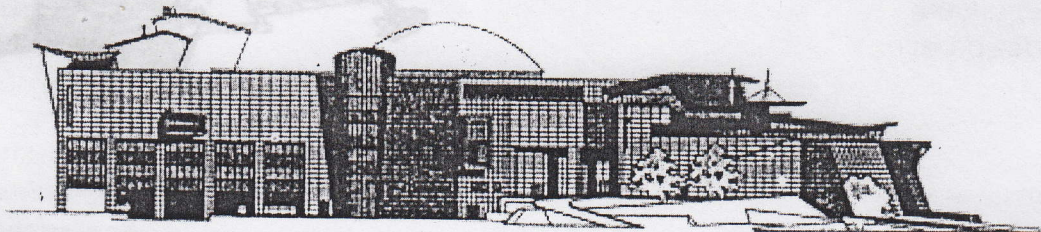
South elevation



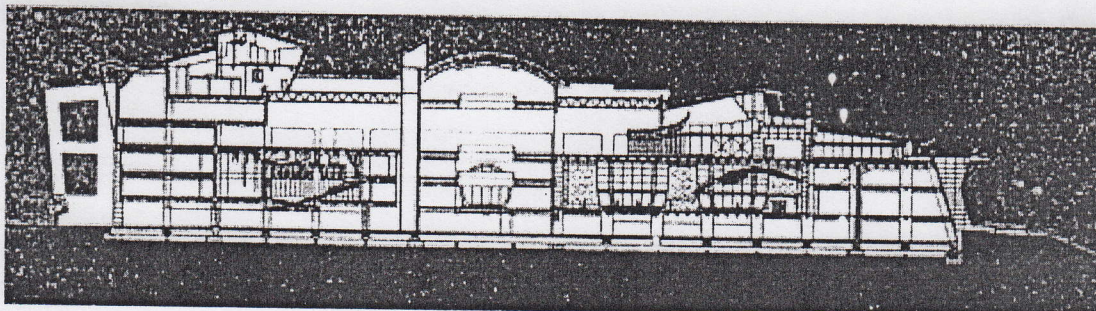
South elevation



East elevation

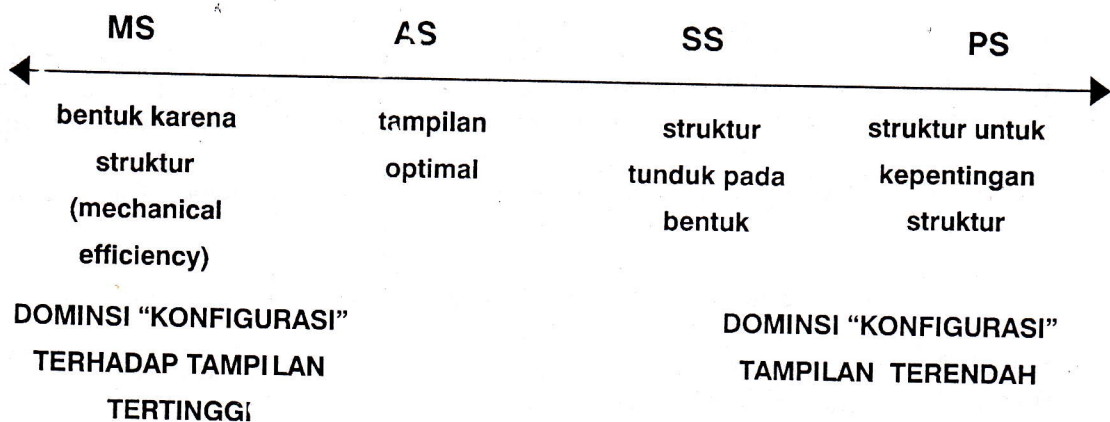


West elevation



KESIMPULAN

1. Menempatkan gempa bumi sebagai faktor penentu tampilan bangunan bisa digali melalui "konfigurasi" dan metode konstruksi yang khusus.
2. Struktur sebagai prinsip organisasi, dapat digali dengan mengintegrasikan organisasi ruang dengan tata letak elemen elemen struktural pendukung gempa dan tata letak elemen elemen non struktural.
3. Tingkatan pengaruh "konfigurasi" terhadap tampilan bangunan
 - Struktur sebagai penentu bentuk
 - *Minimal Structure (M-S)*
 - *Optimal Structure (O-S)*
 - *Sculpture Structure (S-S)*
 - *Pretentious Structure (P-S)*
 - *Pretentious structure (Howard) - PS*



4. Studi studi kasus memperkuat kesimpulan diatas, dan memberi pelajaran bahwa kerja sama antara arsitek dan perancang struktur dibutuhkan dalam proses perancangan arsitektur sejak awal proses transformasi dari konsep abstrak ke bentuk fisik.

REFERENSI

1. Arnold, Christopher, *Building Configuration and Seismic Design*. John Wiley & Sons, New York © 1982
2. Ambrose, James and Vergun, Dimitry, *Seismic design of Buildings*. John-Wiley & sons. New York ©1985
3. DPU Cipta Karya, *Peraturan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung* 1983
4. DPU Cipta Karya, *Pedoman Perencanaan Untuk Struktur Beton Bertulang Biasa Dan Struktur Tembok Bertulang Untuk Gedung* 1983
5. Garcia, Belen (Ed), *Earthquake Architecture*. Loft Publication S. L.. and HBI, An Imprint Of Harper Collins Publishers New York 2000
6. Glasser, D. E. Structural considerations . In Snyder, James C and Catnese, Antony J (Eds), *Introduction to Architecture*, (pp. 268 – 272). Mac Graw-Hill, New York 1976
7. Howard, H Seymour, *Structure: an Architect's Approach*, Mac Graw-Hill, New York 1966
8. Salvadory, *Structutur in Architecture*. Prentice-Hall, Inc, Engelwood Cliffs, New York © 1963
9. Schodek, Daniel L, *Structures*. Prentice-Hall, Inc, Engelwood Clifff New York © 1980
10. Siegel, Curt, *Structure And Form In Modern Architecture* (T. E. Burton, Trans.). Van Nostran Reinhold Company, New York © 1962
11. Wangsadinata, Wiratman, *Pengaruh Gempa Terhadap Perancangan Arsitektur Bangunan*. Makalah Seminar Peranan Arsitektur Dan Struktur Dalam Perencanaan Bangunan Bangunan Tinggi, FTSP Universitas Trisdakti 1988

